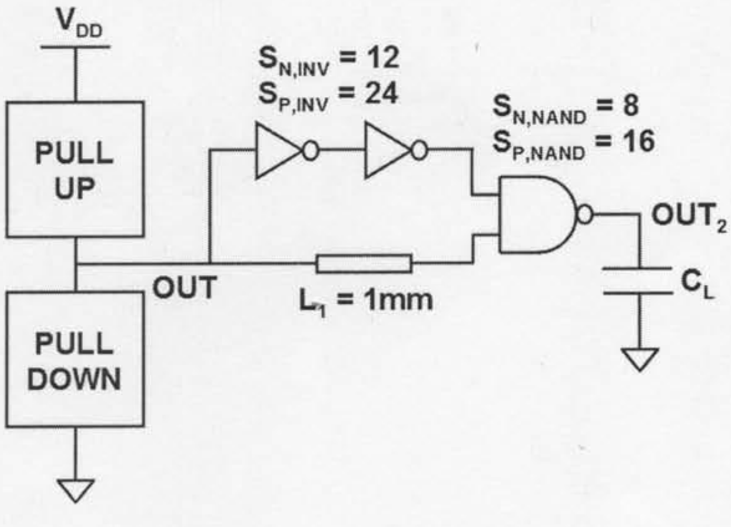
D

D1	D2	D3	D4	D5	Totale
/3	/5	/4	/3	/5	



$V_{DD} = 1V$

$V_{Tn} = |V_{Tp}| = 0{,}25V$

$\beta'_n = 200\ \mu A/V^2$

$\beta'_p = 100\ \mu A/V^2$

$L_{min} = 0{,}09\ \mu m$

$C_{ox} = 23\ fF/\mu m^2$

$\lambda = \gamma = 0$

Si consideri inizialmente la linea di interconnesione L_1 ideale (cortocircuito).

1) Si disegnino le reti di Pull Up e Pull Down del circuito FCMOS del primo stadio tale che:

$$OUT_2 = A \cdot (\overline{B} + C) \cdot \overline{D} + \overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot (B + C)$$

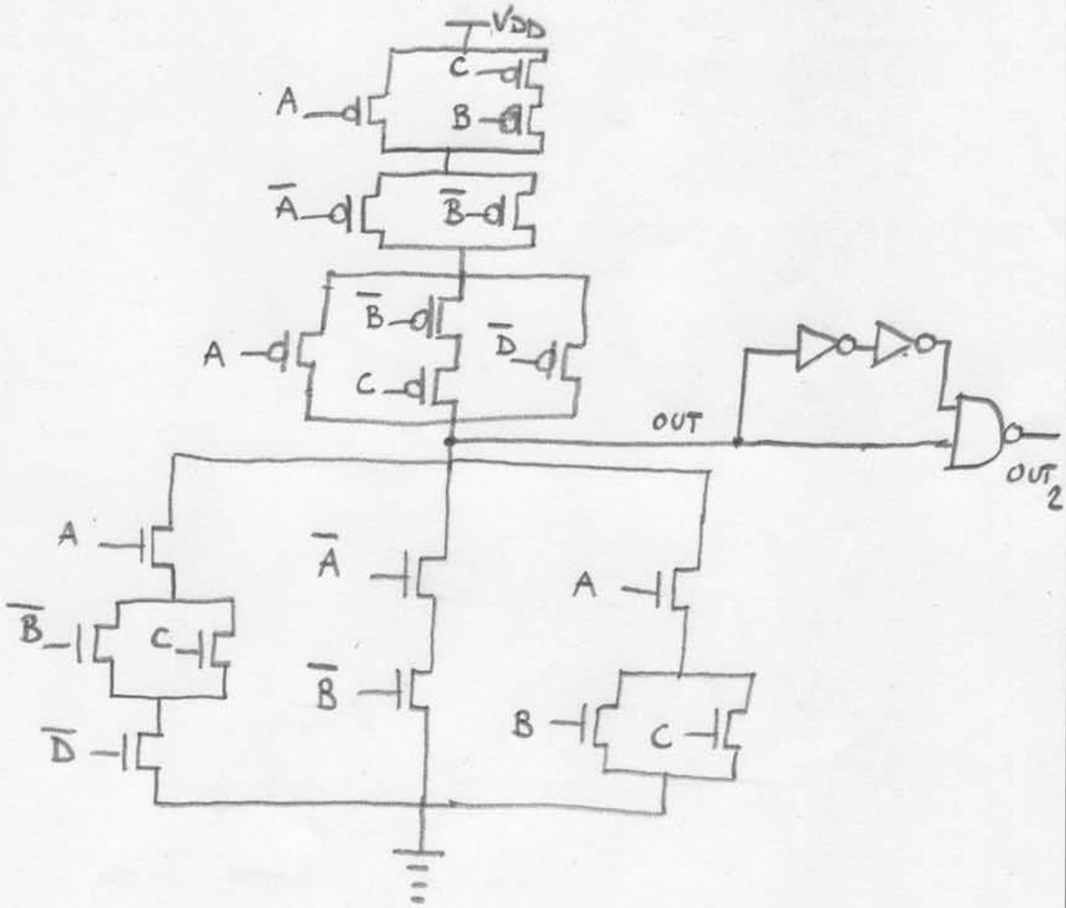
2) Dimensionare il fattore di forma dei transistori delle reti di Pull Up e Pull Down (S_N e S_P) in modo che, nel caso peggiore, i transitori al 90% al nodo OUT abbiano durata non superiore a 95 ps.
3) Determinare il valore massimo della capacità di ingresso (specificando il segnale per cui si ottiene tale valore) nei seguenti casi: (a) il segnale negato è generato in modo indipendente dal segnale vero, (b) il segnale negato è generato a partire dal segnale vero con un inverter (i cui transistori hanno fattore di forma identico a quello degli inverter a valle del nodo OUT).

Si consideri ora la linea di interconnessione L_1 descritta mediante un modello elettrico a π e si indichi con $r = 0{,}25\ \Omega/\mu m$ e $c = 0{,}02\ fF/\mu m$ rispettivamente la resistenza e la capacità della linea di interconnessione per unità di lunghezza. Siano inoltre $R_{N,RIF,90\%,S=1,VGS=|VDD|} = 9567\ \Omega$ e $R_{P,RIF,90\%,S=1,VGS=|VDD|} = 19134\ \Omega$ le resistenze equivalenti relative a transistori NMOS e PMOS con fattore di forma unitario (per il calcolo dei transitori al 90%).

4) Si consideri la transizione degli ingressi (A, B, C, D): (0, 0, 1, 1) → (0, 1, 1, 1). Si disegni il circuito RC equivalente per il calcolo della costante di Elmore.
5) Si calcoli la durata dei transitori (al 90%) ai due ingressi del gate NAND a seguito della transizione degli ingressi definita al punto 4.

1) $OUT_2 = \overline{OUT \cdot OUT} = \overline{OUT}$

$$OUT = \overline{A \cdot (\overline{B} + C) \cdot \overline{D} + \overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot (B + C)}$$



2)

$$C_{OUT} = C_{OX} L_{min}^2 (S_{n_{INV}} + S_{p_{INV}}) + C_{OX} L_{min}^2 (S_{n_{NAND}} + S_{p_{NAND}}) =$$

$$= 23 \cdot 10^{-15} \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot (12 + 24 + 8 + 16) =$$

$$= 11{,}178 \text{ fF}$$

CASO PEGGIORE PD 3 NMOS IN SERIE

$A = 1 \quad B = 0 \quad C = 0 \quad D = 0$

$S_{PD} = S_m/3$

$$t_{f,90\%} = \frac{2\, C_{OUT}}{\beta'_m\, S_{PD}} F_{m90\%} = \frac{6\, C_{OUT}}{\beta'_m\, S_m} F_{m90\%} \leq t^* = 95ps$$

$$S_m \geq \frac{6\, C_{OUT}}{\beta'_m\, t^*} F_{m90\%} = \frac{6 \cdot 11{,}178 \cdot 10^{-15}}{200 \cdot 10^{-6} \cdot 95 \cdot 10^{-12}} \cdot 2{,}203 = 7{,}77$$

$S_m \simeq 8$

CASO PEGGIORE PU 4 PMOS in SERIE

$A = 1 \quad B = 0 \quad C = 0 \quad D = 1$

$S_{PU} = S_P/4$

$$t_{r90\%} = \frac{2\, C_{OUT}}{\beta'_p\, S_{PU}} F_{p90\%} = \frac{8\, C_{OUT}}{\beta'_p\, S_p} F_{p90\%} \leq t^* = 95\ ps$$

$$S_p \geq \frac{8 \cdot C_{OUT}}{\beta'_p\, t^*} \cdot F_{p90\%} = \frac{8 \cdot 11{,}178 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 95 \cdot 10^{-12}} \cdot 2{,}203 = 20{,}73$$

$S_p \simeq 21$

3)

(a) CASO PEGGIORE PER A, $\overline{B}$ e C

$$C_{in_{max}} = C_{ox} L^2_{min} \cdot (2S_m + 2S_p) = 23 \cdot 10^{-15} \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot (16 + 42)$$
$$= 10{,}8\ fF$$

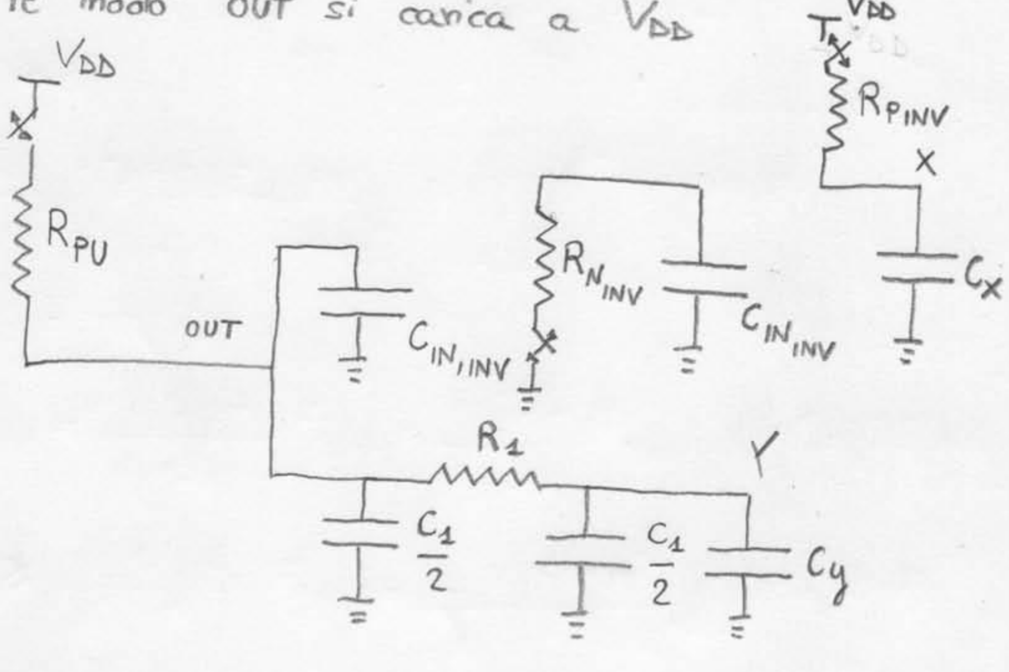
(b) CASO PEGGIORE PER A

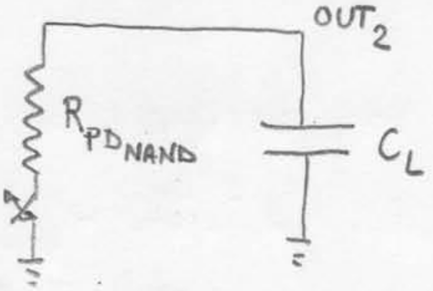
$$C_{in_{MAX}} = C_{OX} L_{min}^2 (2S_n + 2S_p) + C_{OX} L_{min}^2 (S_{n_{INV}} + S_{p_{INV}})$$

$$= 23 \cdot 10^{-15} \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-3} (16 + 42 + 12 + 24) = 17{,}51 \; fF$$

4) Sia $(A, B, C, D) : (0, 0, 1, 1) \longrightarrow (0, 1, 1, 1)$

Il nodo OUT si carica a V_{DD}





5)

$$\tau_{IN,X} = \tau_{IN,OUT} + \tau_{I\,INV} + \tau_{II\,INV} = R_{PU} \cdot (C_{IN,INV} + C_1 + C_Y) +$$
$$+ R_{N,INV} \cdot C_{IN,INV} + R_{P,INV} \cdot C_X$$

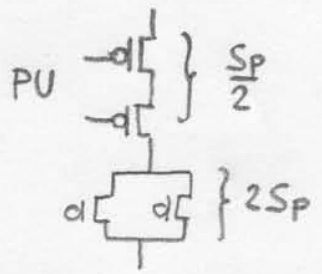
$$\tau_{IN,Y} = R_{PU} \cdot (C_{IN,INV} + C_1 + C_Y) + R_1 \left(\frac{C_1}{2} + C_Y \right)$$

Si ha $R_1 = r \cdot L_1 = 250\ \Omega$ $\quad C_1 = c \cdot L_1 = 20\,fF$

$$C_{IN,INV} = C_{OX} L_{min}^2 \cdot (S_{N,INV} + S_{P,INV}) = 23 \cdot 10^{-15} \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 36 = 6{,}706\ fF$$

$$C_X = C_Y = C_{OX} L_{min}^2 (S_{N\,NAND} + S_{P\,NAND}) = 23 \cdot 10^{-15} \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 4{,}471\ fF$$

$$R_{N,INV} = \frac{R_{N,RIF,S=1}}{S_{N,INV}} = 797{,}25\ \Omega \qquad R_{P_{INV}} = \frac{R_{P,RIF,S=1}}{S_{P_{INV}}} = 797{,}25\ \Omega$$



$$\frac{1}{S_{PU}} = \frac{2}{S_P} + \frac{1}{2S_P} = \frac{4+1}{2S_P}$$

$$S_{PU} = \frac{2}{5} S_P = \frac{2}{5} \cdot 21 = 8{,}4$$

$$R_{PU} = \frac{R_{P,RIF,S=1}}{S_{PU}} = 2277{,}85\ \Omega$$

$$t_{r\,X,90\%} = \tau_{IN,X} \ln(10) = [2277{,}85 \cdot 31{,}177 \cdot 10^{-15} + 797{,}25 \cdot 6{,}706 \cdot 10^{-15} +$$
$$+ 797{,}25 \cdot 4{,}471 \cdot 10^{-15}] \cdot \ln(10) = 184{,}036\ ps$$

$$t_{r\,Y,90\%} = \tau_{IN,Y} \ln(10) = [2277{,}85 \cdot 31{,}177 \cdot 10^{-15} + 250 \cdot 14{,}471 \cdot 10^{-15}] \cdot \ln(10) =$$
$$= 171{,}848\ ps$$